

MODUL 1

Pemanfaatan Fluida dalam Kehidupan

Drs. Wahyana

**PENDAHULUAN**

Pada modul pertama ini akan dibahas tentang fluida. Fluida atau zat alir termasuk zat cair dan udara. Oleh karena itu, modul terbagi atas dua kegiatan. Pada kegiatan pertama berisi pendalaman tentang zat cair, khususnya tentang air dan darah. Air merupakan zat yang bersifat unik baik dalam keadaan mengalir (dinamik) maupun dalam keadaan tidak mengalir (statik). Oleh karena keunikannya maka air sangat berperan dalam kehidupan. Darah sangat berperan dalam kehidupan dan mempunyai sifat fisis, seperti air. Dengan demikian, sifat darah pada tubuh manusia akan dibahas secara singkat juga.

Pada kegiatan kedua akan dibahas secara khusus tentang udara sebagai pembentuk atmosfer bumi. Pemanfaatan udara dalam keadaan statik dalam bentuk penerapan tekanan atmosfer pada beberapa peralatan maupun dalam kehidupan. Dalam keadaan dinamik atau angin akan ditinjau pemanfaatan udara sebagai medium penentu cuaca dan sebagai sumber energi.

Secara umum setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat mengaplikasikan konsep zat alir dalam kehidupan. Secara lebih terperinci Anda diharapkan dapat:

1. menjelaskan sifat khusus air sebagai pelarut;
2. menjelaskan pemanfaatan tekanan hidrostatik;
3. menjelaskan pemanfaatan sifat termal dari air;
4. menjelaskan makna siklus hidrologi bagi kehidupan;
5. menerapkan hukum Bernoulli pada pemanfaatan aliran air dan darah;
6. menjelaskan pengertian air sebagai sumber energi;
7. menjelaskan sifat khusus dari udara;
8. menjelaskan peran atmosfer dalam kehidupan;
9. menjelaskan prinsip kerja alat yang berhubungan dengan tekanan atmosfer;

10. menerapkan hukum Bernoulli pada pemanfaatan aliran udara atau angin;
11. menjelaskan angin sebagai sumber energi;
12. menentukan kecepatan aliran fluida dengan menggunakan venturimeter.

Untuk membantu Anda mencapai tujuan tersebut, modul ini dibagi menjadi dua kegiatan belajar, seperti berikut.

Kegiatan Belajar 1: Pemanfaatan Sifat Khusus Zat Cair.

Kegiatan Belajar 2: Manfaat Udara dalam Kehidupan.

Kedua kegiatan belajar tersebut merupakan landasan atau dasar bagi Anda dalam mempelajari modul berikutnya. Tingkat penguasaan Anda dalam Modul 1 ini akan sangat menentukan pencapaian Anda dalam modul-modul berikutnya. Oleh karena itu, kesungguhan dan ketekunan Anda dalam mempelajari Modul 1 ini sangat dituntut.

Selamat Belajar, Semoga Sukses!

KEGIATAN BELAJAR 1

Pemanfaatan Sifat Khusus Zat Cair

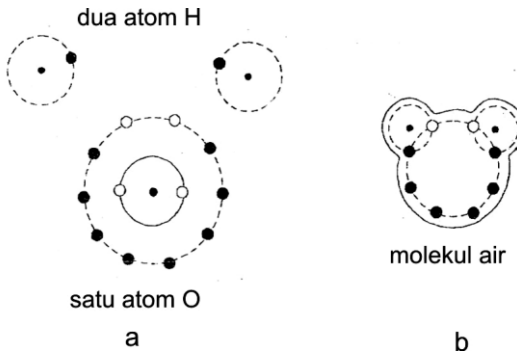
A. SIFAT KHUSUS AIR

Sudah tak dapat disangkal lagi, betapa besar peran air dalam kehidupan karena tanpa air kehidupan tak dapat berlangsung. Pada keadaan biasa, air relatif mudah didapat hingga manusia memperlakukan air sebagai benda biasa tak acuh terhadap perlindungan dan pemeliharannya. Baru timbul masalah kalau terjadi kekurangan air bersih atau kekeringan atau berlimpahnya air di suatu tempat sehingga menimbulkan banjir. Semuanya tidak terlepas dari sifat khusus dari air.

Untuk lebih tanggap terhadap masalah air, tentunya harus memahami lebih mendalam tentang sifat khusus dari air dihubungkan dengan pemanfaatannya yang diuraikan berikut ini.

1. Air sebagai Bahan Pelarut

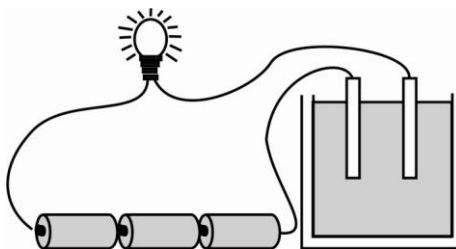
Seperti diketahui, rumus kimia air adalah H_2O . Rumus ini menyatakan bahwa air merupakan senyawa yang molekulnya terdiri dari dua atom hidrogen (H) dan satu atom oksigen (O). Satu atom oksigen mempunyai delapan elektron. Dua elektron mengorbit pada orbit dalam sedang pada orbit luar ada enam elektron. Atom hidrogen hanya mengandung satu elektron. Kalau 2 atom hidrogen bersenyawa dengan satu atom oksigen maka dua elektron dari atom hidrogen akan mengorbit bersama enam elektron dari atom oksigen. Pada orbit terluar genap ada delapan elektron dengan dua elektron menjadi milik bersama. Oleh karena itu, ikatan molekul air sangat kuat dan disebut *ikatan kovalen*. Bentuk ikatan molekul air dapat dilihat pada Gambar 1.1. Dilihat dari struktur letak kedua atom hidrogen yang seolah-olah menempel pada atom oksigen sehingga terjadi pemisahan antara sifat muatan positif dan negatif atau bersifat dipol.



Gambar 1.1.
Senyawa Molekul Air

Kebanyakan zat, ikatan senyawa tidak kovalen, tetapi ikatan ionik. Artinya, ikatan karena gaya listrik, seperti pada senyawa garam. Kalau senyawa garam dimasukkan dalam air maka gaya tarik listrik pada senyawa garam akan melemah akibat pengaruh sifat dipol dari molekul air. Artinya, garam terionisasi dalam air dan dikatakan garam *melarut* dalam air. Peristiwa ionisasi ini menunjukkan air merupakan zat pelarut dan yang dilarutkan bukan saja garam, tetapi juga basa, asam dan zat lainnya. Larutan yang mengandung ion ini disebut *larutan elektrolit* karena dapat mengantarkan arus listrik. Bahwasanya larutan elektrolit dapat mengantarkan listrik dapat ditunjukkan melalui percobaan berikut.

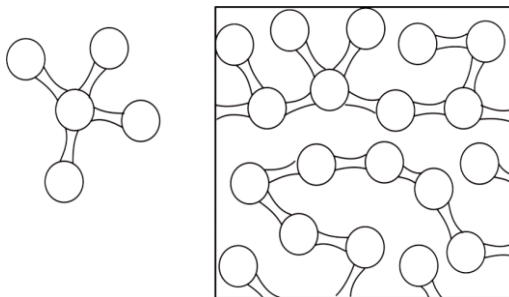
Contoh percobaan



Gambar 1.2.
Peristiwa Elektrolisis

Susunan rangkaian listrik yang terdiri dari batu baterai dan bola lampu 1,5 V sehingga lampu dapat menyala. Kemudian, kawat penghubung diupayakan tidak terhubung secara langsung tetapi melalui air murni yang ada di bejana. Ternyata bola lampu tidak menyala. Artinya, air murni tidak dapat mengantarkan listrik. Kemudian, ke dalam air dimasukkan garam dapur. Apa yang terjadi? Ternyata sekarang lampu dapat menyala. Kenyataan ini menandakan bahwa garam melarut dalam air hingga terjadi ionisasi. Sifat air yang mudah melarutkan zat lain hingga akhirnya bersifat pengantar listrik harus diwaspadai karena banyak kecelakaan akibat aliran listrik melalui air. Sifat larutan elektrolit ini dikembangkan terus sehingga ditemukan sel pembangkit tenaga listrik. Yang dimaksud sel adalah dua pasang logam berlainan yang dicelupkan dalam larutan elektrolit. Ternyata terjadi selisih potensial listrik antara kedua logam sehingga kalau dihubungkan dengan kawat konduktor akan terjadi aliran listrik. Demikian sedikit ilustrasi tentang sifat air sebagai zat pelarut.

Molekul H_2O pada air saling bergandengan dengan suatu ikatan yang disebut *ikatan hidrogen*. Pada wujud cair ikatan antarmolekul ini masih lemah sehingga tiap molekul masih dapat bergerak meskipun tidak bebas. Molekul-molekul H_2O pada wujud padat atau es ikatannya kuat meskipun tidak dapat tersusun dengan rapat sehingga membentuk rongga antarmolekul. Hal ini disebabkan karena bentuk molekul H_2O itu sendiri. Kedua atom H yang menempel pada atom O kalau masing-masing intinya dihubungkan dengan inti atom O maka akan membentuk sudut 105° . Hal inilah yang memungkinkan terbentuknya rongga antarmolekul, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3.
Susunan Molekul H_2O pada Air

Adanya rongga antarmolekul air memungkinkan molekul zat lain dapat masuk dalam rongga. Kalau hal ini terjadi, dikatakan bahwa zat itu larut dalam air. Keadaan air inilah yang memungkinkan air dapat bertindak sebagai zat pelarut yang baik.

Contoh percobaan

Isilah sebuah gelas dengan air sampai penuh. Kemudian, sedikit demi sedikit dituangkan garam halus secara perlahan-lahan. Setelah sejumlah garam masuk ternyata air dalam gelas tidak meluap. Hal ini menunjukkan bahwa garam itu tidak mendesak air tetapi mengisi rongga yang ada antarmolekul air.

Contoh peran air sebagai pelarut dapat dilihat dari proses metabolisme. Zat makanan yang masuk dalam tubuh akan diserap oleh darah hanya dapat terjadi kalau sudah dalam bentuk larutan. Demikian juga zat makanan, seperti gula, susu tepung, bumbu masakan dan lainnya sebelum digunakan harus dilarutkan dalam air. Bentuk kegunaan lain pada kehidupan sehari-hari adalah dalam proses pencucian, pembuatan obat, dan bidang industri lainnya. Hal ini didukung juga oleh sifat air yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mempunyai rasa. Oleh karena, air bersifat pelarut yang baik maka sulit sekali diperoleh air yang benar-benar murni H_2O atau air bersih untuk kehidupan. Masalah ini sebenarnya menyangkut masalah lain ialah pengendapan sebagai kebalikan dari melarut.

Misalkan, benda bulat dimasukkan ke dalam air sehingga tidak dapat melarut. Proses pengendapan dapat ditelaah sebagai berikut. Misalkan, jari-jari benda r dan massa jenis ρ . Gaya berat benda $W = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g$. Benda dalam air mendapat gaya ke atas $K = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_a g$. Menurut hukum Stokes, benda akan mendapat gaya hambat dari air $R = 6 \pi r \eta v$. Gaya hambat $R = W - K$; $6 \pi r \eta v = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_a g$ maka $v = \frac{2}{9} \frac{r^2}{\eta} g (\rho - \rho_a)$. Jadi kecepatan endapan v berbanding terbalik dengan viskositas η , dan berbanding lurus dengan selisih massa jenis benda (ρ) dengan massa jenis air (ρ_a).

Untuk mempercepat pengendapan dapat dilakukan dengan memutar tabung endapan hingga timbul gaya sentrifugal untuk membantu gaya gravitasi. Upaya ini dilakukan dalam rangka penjernihan melalui saringan.

Sifat khusus lain dari air antara lain mudahnya atom H pada molekul air menempel pada atom O dari zat lain, seperti dapat dilihat pada tabung kaca. Molekul air yang terpolarisasi tertarik oleh molekul O pada kaca maka di

samping kaca menjadi basah juga bagian air yang dekat kaca akan lebih terangkat hingga permukaan air dalam tabung kaca menjadi cekung. Kenaikan permukaan air akan lebih terlihat kalau penampang tabung sangat kecil. Gejala ini disebut gejala *kapiler*. Penerapan sifat kapiler dapat Anda lihat pada kenaikan minyak tanah lewat sumbu kompor, peredaran darah dalam tubuh, atau kenaikan air tanah melalui akar pohon.

Peristiwa alam lain yang erat hubungannya dengan melarut adalah peristiwa *osmosis*. Osmosis terjadi bila dua larutan yang berbeda konsentrasi dan terpisah oleh dinding berpori akan terjadi rembesan larutan melalui dinding pemisah. Peristiwa ini, misalkan terjadi pada dinding usus halus dan permukaan akar serabut.

2. Sifat Termal Air

Kedaaan bumi yang khusus memungkinkan terdapatnya air baik dalam wujud cair, padat maupun uap. Hal ini berbeda dengan planet-planet lain pada sistem tata surya kita. Diperkirakan ada 1.360 juta km kubik air bumi kita. Hanya 0,65% berada di laut, danau, sungai, tanah dalam bentuk cair dan bentuk uap di atmosfer yang secara langsung berhubungan dengan kehidupan di bumi. Sebagian besar ialah 99,35% ada dalam wujud padat atau es. Sekitar 396.000 km kubik air berasal dari permukaan bumi menguap masuk atmosfer dan diantaranya sebanyak 333.000 km kubik berasal dari lautan. Sedangkan air dari daratan yang menguap memasuki daerah subtropis sehingga mengembun. Oleh karena itu, uap air dari daerah panas akan menyerahkan energi panas atau kalori di daerah dingin. Akibatnya, air mempunyai sifat termal yang memungkinkan penyebaran kalor di permukaan bumi dan di atmosfer.

Mengapa air sering digunakan sebagai medium dalam proses pemanasan? Hal ini dimungkinkan karena air mempunyai sifat termal yang khusus, seperti kalor laten dan kalor jenis relatif lebih besar dibandingkan dengan zat lain. Air mempunyai rentang suhu yang lebar ialah dari 0 sampai 100°C. Air juga mempunyai kemampuan untuk mengantarkan kalor baik secara konveksi maupun konduksi. Dengan kalor jenis cukup besar maka air mudah menerima kalor dan mudah pula memberikan kalor. Pada rentang 0°C sampai 100°C air dapat berwujud cair. Di bawah 0°C baru membeku dan di atas 100°C berubah menjadi uap. Kenyataan inilah yang memungkinkan air digunakan sebagai medium pada alat pemanas maupun sebagai alat pendingin. Hal ini akan dibahas secara khusus pada modul ketiga.

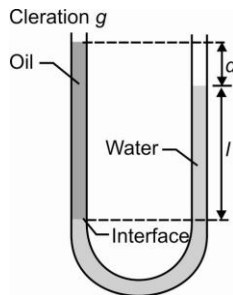
Apakah Anda masih ingat tentang daur hidrologi? Pemanasan air di permukaan bumi oleh sinar matahari menimbulkan proses daur ulang dengan keuntungan, air kotor menjadi bersih sebagai air hujan, terjadi perubahan suhu bumi, sejumlah air dapat berada pada ketinggian tertentu sehingga mempunyai energi potensial. Dengan demikian, memungkinkan air mengalir dari tempat tinggi dan mempunyai energi kinetik. Oleh karena itu, air juga berperan dalam penentuan cuaca di bumi dan juga sebagai sumber energi.

B. PEMANFAATAN ZAT CAIR STATIK

Pada air statik terdapat tekanan hidrostatik sebagai akibat dari gaya gravitasi. Besar tekanan hidrostatik $p = \rho gh$ merupakan tekanan terukur dengan mengabaikan tekanan udara luar p_o . Kalau tekanan luar diperhitungkan maka $p = \rho gh + p_o$.

1. Menentukan Massa Jenis Zat Cair

Perhatikan Gambar 1.4.



Gambar 1.4.
Pipa U

Pipa U terdiri dari dua pipa yang disambung. Misalkan, pipa kiri diisi zat cair dengan kerapatan ρ_1 . Pipa kanan diisi zat cair lain dengan kerapatan ρ_2 . Dalam keadaan setimbang permukaan zat cair sebelah kiri lebih tinggi dibandingkan sebelah kanan sebesar d .

Tekanan zat cair sebelah kiri $p_1 = \rho_1 g (h + d) + p_o$

Tekanan zat cair sebelah kanan $p_2 = \rho_2 g h + p_o$

Karena setimbang maka $p_1 = p_2$ sehingga akan diperoleh hubungan

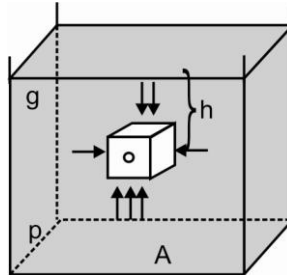
$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h}{(h + d)}$$

$\frac{\rho_1}{\rho_2}$ merupakan perbandingan massa jenis zat dengan massa jenis air yang dinamakan massa jenis relatif.

Bila salah satu kerapatan zat cair diketahui maka kerapatan zat cair lainnya dapat ditentukan. Alat ini dapat digunakan untuk menentukan kerapatan zat cair. Contoh pemanfaatan tekanan hidrostatik terdapat pada barometer dan manometer sebagai alat pengukur tekanan atmosfer atau udara. Coba Anda telaah sendiri.

2. Penerapan Hukum Archimedes

Adanya tekanan hidrostatik dapat dirasakan oleh benda yang dicelupkan dalam air.



Gambar 1.5.
Tekanan ke Atas

Misalkan, sebuah kubus dicelupkan dalam air. Tekanan pada dinding samping seimbang sehingga jumlahnya nol. Tekanan pada dinding bawah lebih besar dari tekanan pada sisi atas, mengapa? Oleh karena itu, ada kelebihan tekanan sebesar $p = \rho gh$. Mengapa? Selisih tekanan ini mengarah ke atas. Kalau luas penampang A maka besar gaya ke atas $F = p A = \rho gh A$. Karena h menyatakan tinggi kubus maka besar gaya ke atas pada kubus sama dengan gaya berat sebanyak air yang dipindahkan kubus. Prinsip ini dikenal dengan *hukum Archimedes*. Gaya ke atas ini memungkinkan benda dapat terapung atau melayang. Dalam penerapannya, misalkan pada upaya agar

benda berat dapat terapung. Prinsip benda terapung diterapkan dalam alat transportasi di air, seperti rakit, perahu, dan kapal termasuk balon yang dapat terapung di udara.

Contoh soal

Sebuah balon berbentuk bola jari-jari 12 m berisi gas Helium. Berapa besar berat beban yang dapat diangkat oleh balon? Massa jenis Helium 0,160 kg/m³, untuk udara 1,25 kg/m³.

Penyelesaian

Hukum Archimedes dapat digunakan dalam udara.

Gaya ke atas = berat udara yang dipindahkan balon $\rightarrow \rho_u V = 4/3 \pi R^3 \rho_u$

Gaya ke bawah = berat Helium + berat beban = $4/3 \pi R^3 \rho_{He} + m$

Karena gaya ke atas = gaya ke bawah maka

$$4/3 \pi R^3 \rho_u = 4/3 \pi R^3 \rho_{He} + m$$

$$m = 4/3 \pi R^3 (\rho_u - \rho_{He}) = 4/3 \pi 12^3 (1,25 - 0,160) = 7886 \text{ kg}$$

Jadi berat beban total 7886 kg.

Dengan demikian, keuntungan mekanik sebuah balon dapat ditentukan oleh perbandingan antara massa jenis udara dengan massa jenis gas dalam balon.

Di daerah dingin di lautan sering terjadi gundukan es yang melayang-layang yang terkenal dengan sebutan gunung es. Apakah ada yang aneh atau ada penyimpangan? Misalkan, volume gunung es V_1 dan kerapatan ρ_1 . Air laut yang dipindahkan gunung es V_2 kerapatan ρ_2 .

Menurut hukum Archimedes $V_1 \rho_1 g = V_2 \rho_2 g$

$$V_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} V_2$$

Menurut tabel kerapatan $\rho_1 = 917 \text{ kg/m}^3$; $\rho_2 = 1024 \text{ kg/m}^3$

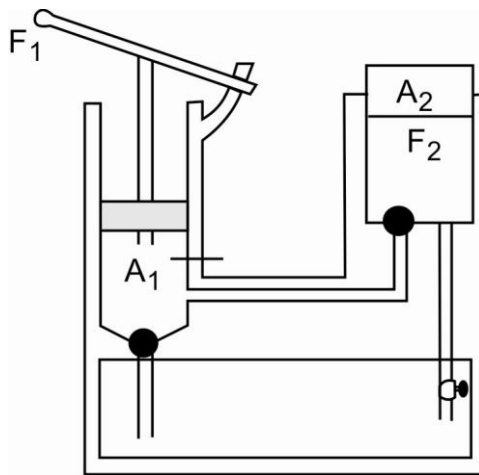
$$\text{maka } V_1 = \frac{1024}{917} V_2 = 1,12 V_2$$

Artinya, volume es lebih besar dari volume air yang menjadi es. Sedangkan menurut teori, air yang didinginkan untuk menjadi es, volumenya harus menyusut hal inilah yang disebut *Anomali air*. Dengan adanya anomali air maka kalau air laut membeku, yang terjadi hanya pada permukaan saja. Di bawah masih ada kehidupan karena air laut masih cair. Inilah fenomena alam

yang menakjubkan dan menguntungkan untuk kehidupan di laut akibat adanya anomali air.

3. Penerapan Hukum Pascal

Sifat hidrostatik lainnya adalah hukum Pascal yang menyatakan bahwa air akan meneruskan tekanan ke segala arah dengan sama rata. Sifat ini digunakan sebagai prinsip kerja alat, seperti pada gambar berikut.



Gambar 1.6.
Prinsip Alat Tekan

Gaya sebesar F_1 di permukaan I dengan luas penampang A_1 tekanannya $p = \frac{F_1}{A_1}$. Tekanan ini akan diteruskan ke permukaan II. Kalau penampang

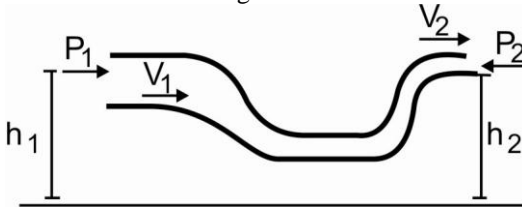
luasnya A_2 maka gaya di II sebesar $F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$. Dengan alat ini diperoleh

gaya F_2 yang lebih besar dari F_1 . Kalau diperhitungkan dari segi kerja, besar kerja pada sisi I akan sama dengan sisi II. Demikian pula dengan energinya. Mengapa? Dengan demikian, peran air tidak ada hubungannya dengan energi, tetapi untuk memperoleh keuntungan mekanik saja.

C. PEMANFAATAN HIDRODINAMIK

1. Aliran Fluida

Bicara tentang pemanfaatan air mengalir, tidak terlepas dari hukum gravitasi dan hukum kekekalan energi mekanik.



Gambar 1.7.
Aliran Air Stasioner

Penerapan sifat air mengalir dapat juga berprinsip pada hukum Bernoulli, Hukum ini berlaku untuk aliran fluida yang stasioner atau laminar dengan rumusan

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Aliran laminar dalam pipa dapat berubah menjadi aliran turbulen bila pipa tiba-tiba menyempit hingga terjadi perubahan luas penampang pipa. Perubahan penampang pipa mengakibatkan kecepatan aliran makin besar. Kecepatan batas hingga aliran laminar menjadi turbulen disebut *kecepatan kritis* v_c . Untuk menentukan kecepatan kritis, dapat digunakan rumus Reynolds berikut.

$$v_c = K \eta / (\rho R)$$

v_c = kecepatan kritis;

K = konstanta Reynolds antara 1.000 sampai 2.000;

η = viskositas; ρ massa jenis.

R = jari-jari pipa.

Perhatikan contoh berikut. Aliran darah pada pembuluh aorta yang berjari-jari 1 cm; $\eta = 4 \times 10^{-3}$ Pas; $\rho = 10^3$ kg/m³; $K = 1000$; $v_c = K \eta / (\rho R) = 1000 \times 4 \times 10^{-3} / (10^3 \times 10^{-2}) = 0,4$ m/s. Menurut hasil eksperimen, kecepatan darah di aorta antara 0 sampai 0,5 m/s. Artinya, bila kecepatan darah melebihi 0,4 m/s maka aliran darah berubah dari laminar menjadi turbulen.

Kecepatan aliran laminar dalam pipa dapat dinyatakan juga dengan debit ialah banyaknya volume zat cair yang mengalir tiap sekon. Menurut Poiseuille, debit aliran laminar berbanding lurus dengan selisih tekanan pada pipa dan berbanding terbalik dengan hambatan yang ada pada pipa. Sedangkan besar hambatan tergantung pada panjang pipa, diameter pipa, dan viskositas. Kenyataan ini oleh Poiseuille dirumuskan sebagai

$$Q = \pi R^4 (\Delta p) / 8 \eta L$$

Q = debit;

η = viskositas;

R = jari-jari pipa;

L = panjang pipa;

Δp = selisih tekanan.

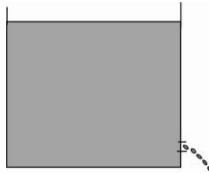
Ciri lain dari aliran laminar pada pipa ialah *hukum kontinuitas*, ialah $A_1 v_1 = A_2 v_2$. Kecepatan aliran fluida berbanding terbalik dengan luas penampang.

Sebagai contoh yang lain adalah aliran darah pada tubuh mengalir dari jantung melalui pembuluh darah aorta dan secara laminar diteruskan melalui beberapa cabang pembuluh darah kapiler. Misalkan, kecepatan darah pada aorta 30 cm/s dan luas penampang aorta 3 cm². Berapa banyak cabang pembuluh darah kapiler kalau luas penampang tiap pipa kapiler 3×10^{-7} cm² dan kecepatan aliran darah 0,05 cm/s. Misalkan, banyak pembuluh kapiler n buah maka $n = A_1 v_1 / A_2 v_2$; $n = (5 \times 30) / (3 \times 10^{-7} \times 0,05) = 6 \times 10^9$. Jadi, terdapat 6 miliar pembuluh darah kapiler.

2. Energi Aliran Air

Misalkan, zat cair mengalir pada pipa. Cairan dalam kurun waktu dt mengalir sebanyak dm maka debit air $Q = dm/dt$. Energi potensial air massa dm sebesar $dE = gh dm$. Besar daya $P = dE/dt$ atau $P = gQh$. Artinya, secara teoretis, sebesar daya yang dibawa arus berbanding lurus dengan debit air dan ketinggian sumber air. Dalam praktiknya, harus diperhitungkan faktor efisiensi dan faktor gesekan dengan menggunakan faktor k . Dengan demikian, rumus praktisnya menjadi $P = kQh$. Estimasi secara kasar, besar k antara 0,7 sampai 0,8. Energi aliran fluida ini dapat diubah dan digunakan dalam bentuk energi lain, seperti energi mekanik kincir air atau energi listrik.

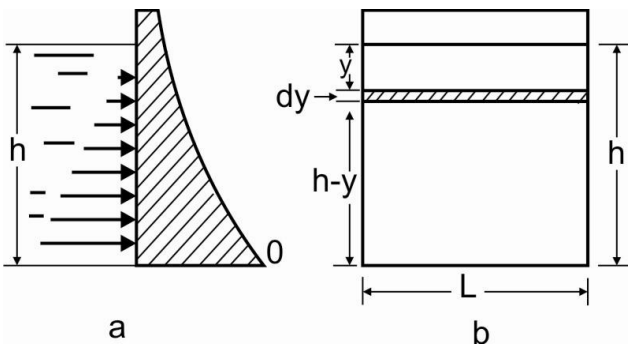
Kita akan menelaah aliran air dari penampungan.



Gambar 1.8.
Air mengalir dari Bak Penampungan

Untuk menentukan kecepatan air mengalir dari bak penampungan melalui lubang h meter di bawah permukaan air $p_1 = p_2$; $v_1 = 0$, permukaan air dalam bak dianggap tetap $v_2 = v$; $h_1 = h$, dan $h_2 = 0$ maka hubungannya menjadi $\rho gh = \frac{1}{2}v^2$. Dengan demikian, $v = \sqrt{(2\rho gh)}$ dan $mgh = \frac{1}{2}mv^2$. Artinya, terjadi proses perubahan dari energi potensial menjadi energi kinetik. Energi mekanik inilah yang dapat berubah menjadi bentuk energi lain, seperti pada kincir air dan pembangkit listrik tenaga air.

Yang menjadi permasalahan ialah bagaimana memperoleh air dengan permukaan setinggi mungkin. Sebagai akibat daur hidrologi, sejumlah air dapat berada pada ketinggian tertentu. Supaya air dapat dialirkan lebih deras, diperlukan upaya membendung air sehingga terbentuk suatu waduk pada ketinggian tertentu. Perhatikan suatu bentuk bendungan pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9.
Bendungan

Besar tekanan hidrostatik pada titik di dinding bendungan jarak y dari permukaan air ialah $p = \rho gy$. Gaya pada bidang seluas dA pada dinding:

$$dF = pdA = \rho gy L dy.$$

$$F = \int \rho gL y dy = \rho gL \frac{1}{2} y^2 = \rho gL h^2/2 \text{ (untuk harga } y \text{ dari 0 sampai } h\text{).}$$

Momen gaya dF terhadap titik O di dasar waduk:

$$\tau d = dF(h-y) = \rho gLy(h-y)dy$$

$$\tau = \int \rho gLy(h-y) dy = \rho gL h^3/6$$

Bila titik tangkap gaya F pada jarak H dari dasar maka

$$F H = \rho gL h^3/6 \text{ atau } H = \rho gL h^3/6 (1/\rho gL h^2/2) = 1/3 h.$$

Jadi titik berat bendungan letaknya lebih bawah ialah $1/3$ dari tinggi bendungan. Makin bawah bendungan harus dibuat makin tebal agar stabil.

3. Energi Air Laut

Kalau diperhatikan air laut tidak pernah diam. Gelombang tidak pernah henti-hentinya menerpa pantai. Gerakan air laut ini secara fisik di samping pengaruh angin juga oleh perbedaan kadar garam yang dikandungannya. Karakteristik gelombang ditentukan juga oleh perbedaan kedalaman dan bentuk lekuk pantai. Oleh karena itu, sering kita amati deburan ombak yang datang secara teratur dan berperiodik. Kenyataan ini mendorong para peneliti untuk memperkirakan energi yang terkandung pada gelombang laut. Salah seorang pengamat bernama Huls, merumuskan dalam bentuk

$$P = \rho gTH^2/64 \pi$$

P = daya

ρ = massa jenis air laut

g = percepatan gravitasi

T = periode gelombang laut

H = tinggi ombak rata-rata

Energi ini dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Berikut ini beberapa hasil pengamatan yang diperoleh.

Tabel 1.1.
Periode (T), Tinggi Ombak Rata-rata (H), dan Daya (P) Air Laut

T	H	P
9 detik	1 meter	4,3 kW/m panjang ombak
9 detik	2 meter	17 kW/m panjang ombak
9 detik	3 meter	39 kW/m panjang ombak
12 detik	10 meter	600 kW/m panjang ombak

Perbedaan kedalaman air dapat mengakibatkan juga perbedaan kecepatan air. Misalkan, kecepatan arus permukaan 2 km/jam, mungkin pada kedalaman tertentu kecepatannya 4 km/jam dengan arah yang berlawanan. Perbedaan arah dan besar kecepatan ini dapat dimanfaatkan untuk memutar roda turbin.

Konversi energi dapat juga terjadi berdasar perbedaan tinggi rendahnya air laut. Seperti diketahui, air laut mengalami dua kali pasang surut dalam sehari. Waktu pasang air laut ditampung dalam suatu waduk di pantai. Selisih tinggi maksimum permukaan air waktu pasang surut H dengan luas waduk A .

$$\text{Energi air dalam waduk } E = \rho g A H^2$$

Secara teoretis, kandungan energi tergantung pada H^2 , artinya sangat di tentukan oleh selisih tinggi pasang surut.

4. Energi Uap Air

Setelah kita mempelajari pemanfaatan sumber energi air secara langsung maka sekarang kita tinjau pemanfaatan uap air. Sifat uap air tidak jauh berbeda dengan sifat gas. Kebebasan bergerak molekul air mengakibatkan uap air mempunyai tekanan yang besar. Makin tinggi suhu dalam tabung tertutup yang berisi uap makin besar tekanannya. Gaya tekan uap air ini dapat digunakan untuk melakukan kerja. Energi yang dikeluarkan digunakan untuk mendorong turbin hingga berputar, seperti pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Permasalahannya, bagaimana caranya untuk memperoleh sejumlah uap air bertekanan tinggi? Uap air bertekanan tinggi dapat diperoleh dengan cara memanaskan air. Untuk itu, diperlukan sumber energi lain, seperti batu bara, minyak bumi, energi nuklir dan sebagainya. Dengan demikian, uap air digunakan sebagai alat konversi untuk mengubah satu bentuk energi menjadi energi lain. Uap air dapat juga terbentuk karena proses pemanasan air tanah oleh energi yang terkandung di perut bumi (geothermal). Uap ini dapat ke luar dengan cara pengeboran atau ke luar sendiri karena tekanannya sangat besar. Penggunaan uap lainnya ada pada mesin uap. Hal ini akan dibahas secara khusus pada Modul 3.



LATIHAN

Untuk memeddalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan sifat khusus dari air dan contoh pemanfaatan dari masing-masing sifat khusus.
- 2) Apa perbedaan peran antara hukum Bernoulli dengan hukum Poiseuille?
- 3) Apa perbedaan antara peran hukum Bernoulli dengan hukum Poiseuille dalam menjelaskan fenomena alam?
- 4) Bagaimana bentuk penerapan mekanika fluida pada aliran darah dalam tubuh manusia?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Sifat khusus dari air, antara lain berikut ini.
 - a. Air sebagai pelarut. Untuk mencuci, memasak, dalam proses pencernaan, pembuatan obat ramuan, dan pengencer.
 - b. Air sebagai pentransfer energi. Merebus, pendingin, pemanas, penguapan, penyulingan.
 - c. Air mempunyai tekanan. Penyeimbangan tekanan pada tumbuhan atau tubuh, pompa hidrolik, alat transportasi di air, dan alat angkat (tekanan Archimedes).
- 2) Hukum Bernoulli mengatur tentang aliran fluida stasioner atau laminar. Sedangkan hukum Poiseuille dalam bentuk perluasan sehingga menyangkut aliran turbulensi yang dapat menentukan beberapa faktor penghambat aliran. Dengan demikian dapat menentukan besaran hambatan, seperti halnya hambatan dalam aliran listrik. Sebagai contoh Anda dapat mempelajari aliran darah dalam tubuh yang harus memenuhi prinsip kontinuitas aliran.
- 3) Hukum Bernoulli mengatur tentang aliran laminar atau stasioner fluida pada pipa. Sedangkan Poiseuille mengemukakan tentang faktor-faktor hambatan pada aliran.
- 4) Pada prinsipnya sama dengan air.

**RANGKUMAN**

Air sebagai bahan pelarut tidak terlepas dari bentuk ikatan hydrogen yang memungkinkan air mempunyai karakter yang khusus pula. Air statik mempunyai tekanan akibat pengaruh gaya gravitasi. Air sebagai faktor cuaca erat hubungannya dengan sifat termal dari air yang khusus pula. Air statik sebagai sumber energi tidak terlepas dari pengaruh Hukum Newton, hukum Archimedes dan hukum Pascal. Air dinamik sebagai sumber energi dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum Bernoulli dan hukum Poiseuille.

Air dalam wujud uap berperan dalam proses konversi energi dari bentuk energi termal menjadi bentuk energi lain seperti bentuk energi mekanik dan energi listrik. Dengan demikian, air sebagai sumber energi lebih berperan dalam proses konversi antara salah satu bentuk energi dengan bentuk energi lainnya.

**TES FORMATIF 1**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Air merupakan pelarut yang baik sebagai akibat langsung dari bentuk ikatan
 - A. molekul bersifat ikatan kovalen
 - B. molekul bersifat ikatan hidrogen
 - C. atom bersifat ikatan ionik
 - D. atom bersifat ikatan logam
- 2) Ada beberapa faktor yang memungkinkan permukaan air lebih tinggi pada pipa kapiler, *kecuali*
 - A. peristiwa polarisasi
 - B. air membasahi dinding
 - C. air sebagai pelarut yang baik
 - D. air mempunyai tekanan
- 3) Ada beberapa fakta yang menunjukkan air mempunyai sifat termal dalam kehidupan, *kecuali*
 - A. air sebagai faktor cuaca
 - B. air sebagai pembentuk larutan elektrolit
 - C. rentang suhu air sangat lebar
 - D. panas jenis air relatif besar

- 4) Anomali air erat hubungannya dengan beberapa peristiwa di bumi, *kecuali*
- A. es dapat terapung di air
 - B. permukaan air laut naik bila es di kutub mencair
 - C. meskipun ditutupi lapisan es, kehidupan di laut tidak terganggu
 - D. air laut terasa asin dibandingkan dengan air biasa
- 5) Air statik mempunyai tekanan karena
- A. ikatan atomik yang sangat kuat
 - B. pengaruh gaya gravitasi
 - C. ikatan molekul yang sangat kecil
 - D. pengaruh peristiwa osmosis
- 6) Air mengalir dari sumber air setinggi 10 m hingga debitnya $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan menggunakan konstanta $k = 0,8 \text{ joule/m}^3$, besar daya yang dapat diperoleh secara ideal adalah
- A. 4 watt
 - B. 8 watt
 - C. 40 watt
 - D. 80 watt
- 7) Jari-jari serabut darah kapiler $3 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$. Jika viskositas darah $4 \times 10^{-3} \text{ pas}$, massa jenis darah 10^3 kg/m^3 maka untuk konstanta $k = 1000$, besar kecepatan kritis aliran darah pada serabut kapiler adalah
- A. $4,09 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$
 - B. $4,09 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$
 - C. $4,09 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
 - D. $4,09 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$
- 8) Gelombang laut datang secara periodik sehingga selama 1 menit datang 10 gelombang dengan tinggi rata-rata 3 m. Jika massa jenis air laut 1400 kg/m^3 , $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ maka daya rata-rata yang diperoleh
- A. 3,6 kW/panjang gelombang
 - B. 6,2 kW/panjang gelombang
 - C. 36 kW/panjang gelombang
 - D. 62 kW/panjang gelombang
- 9) Untuk memilih lokasi bagi pembangkit listrik pasang surut air laut, maka hal yang harus dipertimbangkan adalah
- A. suhu dan kadar air laut
 - B. ketinggian waduk
 - C. selisih tinggi air laut pasang surut
 - D. periode pasang surut

- 10) Wujud uap air dapat menjadi sumber energi sebab uap air bersifat
- A. mempunyai kalor jenis sangat besar
 - B. sukar dimampatkan
 - C. kalor penguapan sangat besar
 - D. tekanan uap membesar bila suhu dinaikkan

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

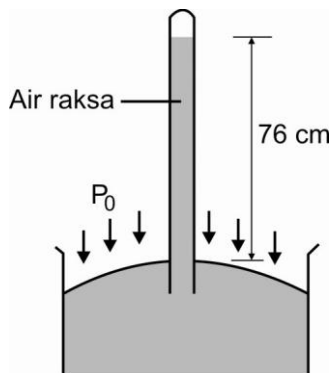
KEGIATAN BELAJAR 2

Manfaat Udara dalam Kehidupan

A. TEKANAN ATMOSFER

Udara sebagai fluida yang menyelimuti bumi kita lebih dikenal dengan sebutan atmosfer. Pada kegiatan belajar ini akan dibahas secara khusus tentang atmosfer ditinjau secara fisis maupun kimiawi. Secara kimiawi, udara terdiri dari 80% gas nitrogen, 19% oksigen, dan 0,04% gas karbondioksida. Sifat fisis utama dari atmosfer adalah sifat mempunyai tekanan.

Mengapa atmosfer mempunyai tekanan atau berapa besarnya? Untuk menjawabnya kita harus kembali membahas tentang percobaan Torricelli.



Gambar 1.10.
Percobaan Torricelli

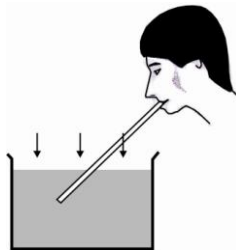
Pipa panjang 1 m berpenampang 1 cm^2 diisi penuh dengan air raksa. Ujung terbuka ditutup ibu jari, kemudian dibalikkan untuk dicelupkan pada air raksa dalam bejana sehingga pipa berdiri vertikal. Setelah ujung yang ditutup terendam, tutup kemudian di buka. Apa yang terjadi? Ternyata permukaan air raksa hanya turun sedikit dan pipa masih ada air raksa setinggi 76 cm. Hal ini dapat terjadi karena udara luar menekan permukaan air raksa dalam bejana hingga seimbang dengan tekanan air raksa setinggi 76 cm. Tekanan udara yang sama dengan berat air raksa setinggi 76 cm ini disebut *satu atmosfer*. Dengan demikian, 1 atmosfer = berat air raksa dengan volume

$76 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}^2$. $1 \text{ atmosfer} = 76 \text{ cm}^2 \times 13,6 \text{ gr/cm}^2 = 1033,6 \text{ gr} = 1,03 \text{ kg}$. Artinya, tekanan 1 atmosfer hampir sama dengan gaya berat benda massa 1,03 kg pada bidang seluas 1 cm^2 , atau $1 \text{ atmosfer} = 1,03 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$; $1 \text{ atmosfer} = 1,01 \times 10^5 \text{ N m}^{-2} = 1,01 \times 10^5 \text{ pascal}$.

Tekanan udara 1 atmosfer ini untuk keadaan normal. Ternyata tekanan atmosfer makin atas makin kecil. Hal ini diakibatkan kerapatan udara makin berkurang.

1. Pemanfaatan Tekanan Atmosfer

Ada beberapa bentuk aplikasi untuk memanfaatkan tekanan atmosfer. Ban kendaraan dipompa, makin lama kerapatan udara di dalam makin besar sehingga tekanan udara membesar. Tekanan udara yang cukup besar dapat menyangga beban dari kendaraan. Oleh karena sifat udara mudah ditekan maka ban selain berfungsi untuk menahan beban juga memberikan daya elastik. Sifat elastik ini dimanfaatkan seperti pada bola, kasur udara, dan lainnya Anda cari sendiri. Contoh lain yang sering Anda jumpai adalah alat sedotan.



Gambar 1.11.
Alat Sedotan

Dengan cara memiringkan gelas berisi air, maka air dapat mengalir ke mulut karena pengaruh gravitasi. Bagaimana caranya agar air dapat mengalir ke mulut tanpa memiringkan gelas? Pipa sedotan salah satu ujungnya dicelupkan dalam air. Tekanan udara luar pada permukaan air dan udara dalam pipa setimbang. Dengan cara menyedot udara dalam pipa, tekanan udara luar akan lebih besar hingga menekan air masuk pipa dan terus masuk mulut.

Apa yang harus dilakukan agar minyak dari tangki dapat mengalir ke ember melalui suatu slang? Artinya, minyak dari tangki harus dapat naik dahulu sebelum mengalir ke dalam ember. Udara menekan permukaan air, demikian juga udara yang ada di dalam slang? Bagaimana kalau udara dalam

slang dikeluarkan dengan cara mengisapnya. Ternyata minyak dapat mengalir dalam slang. Hal ini dapat terjadi karena timbul perbedaan tekanan udara di permukaan air dengan di dalam slang. Prinsip ini, kemudian digunakan pada pompa penyedot air, seperti pipet. Udara dalam karet pipet dikeluarkan dengan cara memijat sehingga tekanan udara di dalamnya lebih kecil dari tekanan udara luar. Akibatnya, cairan akan dapat naik mengisi ruang dalam pipet.

Bentuk penggunaan lain dapat Anda lihat pada Gambar 1.12 berikut.



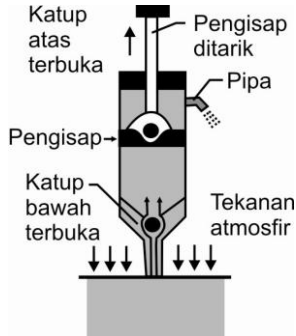
Gambar 1.12.
Pipet dan Alat Pengangkat Kaca

Bola karet dibelah dua hingga diperoleh karet elastis cekung. Belahan bola bila ditelungkupkan pada bidang rata dan licin, kemudian ditekan dan dilepaskan kembali ternyata tidak dapat jatuh. Apa sebabnya? Hal ini dapat terjadi karena tekanan udara luar pada bola lebih besar dari tekanan di dalam. Prinsip ini terdapat juga pada telapak kaki cecak yang cekung hingga cecak dapat menempel dengan kuat pada dinding. Hal yang sama digunakan pada alat penggantung yang terdiri dari bahan plastik elastik berbentuk cekung dilengkapi dengan alat pengait. Alat ini dapat ditempelkan pada dinding atau kaca sebagai alat penggantung. Dengan ukuran yang lebih besar dan kuat, alat dengan prinsip sama digunakan sebagai pegangan waktu pengangkat kaca berukuran lebar.

Pada saat ini sering didapati alat rumah tangga untuk penyedot debu sebagai pengganti sapu. Udara dan debu dari luar masuk dalam alat karena udara di dalamnya telah dikosongkan. Dengan demikian, prinsip umum yang digunakan adalah *Udara mempunyai tekanan yang besarnya tergantung pada kerapatannya*.

2. Hukum Boyle

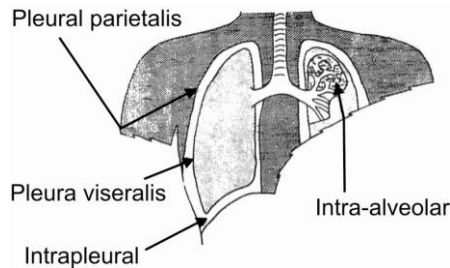
Ada beberapa alat yang berprinsip pada Hukum Boyle. Besar tekanan gas atau udara pada ruang tertutup berbanding terbalik dengan besar volumenya. Prinsip kerja dari pompa minyak, seperti gambar berikut.



Gambar 1.13.
Pompa Minyak

Alat ini terdiri dari pipa cukup panjang disambung dengan silinder berpenampang lebih besar. Pada sambungannya dipasang katup masuk. Pada ujung lain dari silinder dipasang torak lengkap dengan katup ke luar serta kran pengeluaran. Ujung pipa lainnya dicelupkan pada cairan yang akan dipompa. Jika torak ditarik, ruang udara dalam silinder membesar sehingga tekanannya menjadi lebih kecil dari tekanan udara luar. Apa yang terjadi pada cairan dan mengapa? Kemudian, torak ditekan hingga katup keluar terbuka dan katup masuk tertutup. Akibatnya, terjadi pemampatan udara dalam silinder hingga bertekanan lebih tinggi. Apa yang terjadi jika torak terus-menerus dinaik-turunkan? Silakan coba sendiri.

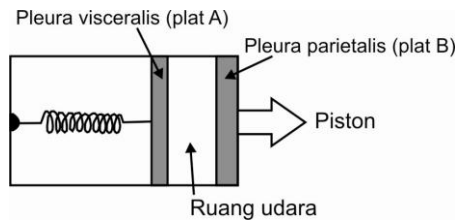
Prinsip yang serupa terdapat pada proses pernapasan dengan paru-paru. Perhatikan Gambar 1.14.



Gambar 1.14.
Paru-paru

Paru-paru diliputi selaput *pleura visceralis* dan selaput *pleura parietalis* dan menyekat ruang *intrapleural*. Ruangan ini berisi lapisan cair yang tipis dan bersifat elastik. Waktu tarik napas dengan cara mengembangkan dada, lapisan ini akan ikut berkembang. Volume paru-paru bertambah, tekanan udara dalam mengecil hingga udara luar masuk. Keadaan sebaliknya waktu mengeluarkan napas. Selama bernapas gerakan bolak-balik ini berlangsung terus, seperti diperagakan pada Gambar 1.15.

Gerakan paru-paru digambarkan, seperti gerakan pengisap pada silinder. Pengisap dapat bergerak bolak-balik karena terikat oleh pegas.



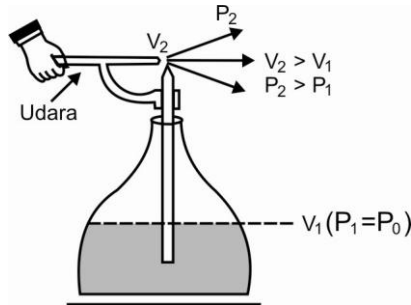
Gambar 1.15.
Gerakan Pompa Paru-paru

3. Hukum Bernoulli

Sifat udara sebagai fluida juga memenuhi prinsip Bernoulli. Bentuk persamaan Bernoulli menyatakan besar energi kinetik fluida tiap satuan massa. Kalau di dua tempat dapat dianggap tidak ada perbedaan energi potensial maka persamaan Bernoulli menjadi

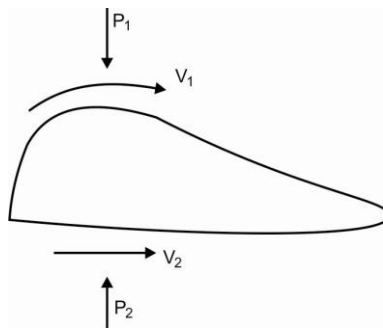
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2, \text{ atau } p_2 - p_1 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2)$$

Rumus ini dapat menjelaskan prinsip kerja alat berikut. Perhatikan alat semprotan air, seperti pada Gambar 1.16. Bagaimana prinsip kerja dari alat itu?



Gambar 1.16.
Semprotan Air

Pada gambar terlihat ada pipa untuk mengalirkan air yang akan naik. Air akan naik kalau pada ujung pipa atas ditiupkan udara arah mendatar. Mengapa? Dengan cara ini air ternyata dapat naik dan ke luar dari ujung atas pipa. Akibat ditiup, kecepatan udara pada ujung pipa atas membesar maka tekanannya mengecil. Oleh karena itu, tekanan udara dalam relatif lebih besar. Selisih tekanan ini yang memungkinkan air akan naik sesuai rumus di atas. Perhatikan pula bentuk umum dari sayap.

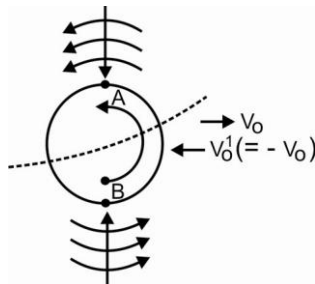


Karena $v_1 > v_2$ maka $p_2 > p_1$

Gambar 1.17.
Sayap

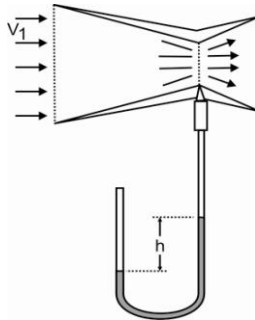
Penampang sayap bagian bawah terbentuk datar. Sedang penampang sayap bagian atas melengkung. Kalau sayap ini bergerak dalam udara maka aliran udara terbagi dua. Aliran udara di atas sayap kecepatannya akan lebih besar dari pada kecepatan aliran udara di bawah sayap. Sesuai dengan rumus di atas maka tekanan di atas sayap akan lebih kecil dari tekanan di bawah sayap. Oleh karena itu, ada selisih tekanan yang mengarah ke atas atau timbul gaya angkat ke atas. Dengan demikian, prinsip kerja sayap dapat dijelaskan dengan menggunakan sifat fluida. Prinsip bahwa selisih kecepatan pada dua sisi suatu sistem akan menimbulkan selisih tekanan disebut *efek venturi*. Prinsip ini digunakan, seperti pada dayung kemudi dan sayap pesawat terbang. Pada olahraga sepak bola ada teknik menendang dengan sebutan tendangan pisang.

Pada Gambar 1.18, sebuah bola sepak ditendang sedemikian rupa hingga selama gerakan maju bola melintir. Kita memandang bola diam sedang yang bergerak udara. Kalau kecepatan bola v_o maka kecepatan awal udara juga v_o dengan arah berlawanan. Karena bola berputar maka timbul kecepatan tangensial v_T . Di sisi A, kecepatan v_o searah dengan v_T . Sedangkan di sisi B berlawanan arah. Artinya, $v_A > v_B$ sehingga $p_A < p_B$. Akibatnya, bola yang ditendang lurus ternyata dapat membelok.



Gambar 1.18.
Efek Venturi

Efek venturi ini digunakan juga pada alat pengukur kecepatan alir fluida, seperti dilukiskan pada Gambar 1.19.



Gambar 1.19.
Venturimeter

Aliran fluida mengalir dalam corong melalui penampang besar dengan luas a , kemudian melalui penampang kecil dengan luas penampang b . Kecepatan fluida mula-mula, misalkan v_1 dan setelah masuk kecepatan menjadi v_2 .

Tekanan awal sebesar p_1 dan di dalam sebesar p_2 . Berlaku hubungan:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$\text{Karena } v_2 = (a/b) v_1 \text{ maka } v_1^2 = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho \left[(a/b)^2 - 1 \right]}$$

Karena $p_1 - p_2$ dapat ditunjukkan dengan h , ialah selisih tinggi air raksa pada manometer dan besaran lain merupakan konstanta maka hubungannya dipermudah menjadi $v_1 = k h$. Konstanta k tergantung pada karakteristik dari alat, sedangkan h menyatakan selisih tinggi air raksa yang dapat diamati pada manometer dan sebanding dengan besar kecepatan fluida yang diukur.

Contoh soal:

Venturimeter dengan perbandingan luas penampang besar dengan penampang kecil sebesar $2x$, dipakai untuk mengukur kecepatan air. Manometer menunjukkan selisih ketinggian 30 cm Hg. Massa jenis air 10^3 kg/m^3 . Tentukan besar kecepatan air!

Penyelesaian:

$$\Delta p = 30 \text{ cm Hg} = 30/76 \times 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 39980 \text{ N/m}^2.$$

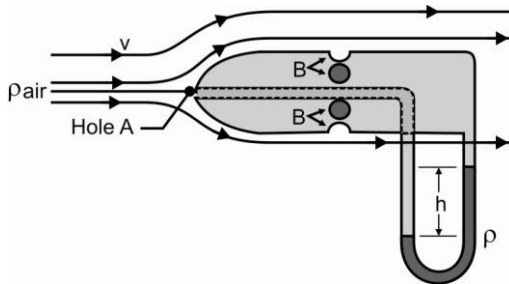
$$a/b = 2.$$

$$v^2 = \Delta p / \{ \frac{1}{2} \rho (a/b)^2 - 1 \}$$

$$v^2 = 39980/1500$$

$$v = 5,16 \text{ m/s.}$$

Alat ini dapat juga digunakan untuk mengukur kecepatan benda yang bergerak dalam fluida statik, seperti kecepatan pesawat terbang. Alat ini disebut tabung pitot, seperti yang tertera pada Gambar 1.20.



Gambar 1.20.
Tabung Pitot

$$\text{Rumus } v = \sqrt{((2\rho gh)/\rho_u)}$$

ρ = massa jenis alkohol = 810 kg/m^3

ρ_u = massa jenis udara = $1,03 \text{ kg/m}^3$

h = selisih tinggi alkohol pada pipa U = $0,26 \text{ m}$

Contoh soal:

Berapa kecepatan pesawat terbang relatif terhadap udara.

Penyelesaian:

Masukan dalam rumus

$$v = \sqrt{((2\rho gh)/\rho_u)}$$

$$v = \sqrt{((2 \times 810 \times 9,8 \times 0,26)/1,03)} = 63,30 \text{ m/s.}$$

Jadi, kecepatan pesawat terbang sebesar $63,30 \text{ m/s}$.

B. ATMOSFER SEBAGAI FAKTOR CUACA

Keadaan cuaca secara garis besar ditentukan oleh empat unsur sebagai berikut.

Unsur pertama adalah matahari bukan saja sebagai sumber energi utama dalam kehidupan, tetapi juga dalam penentuan cuaca di bumi. Matahari meradiasikan energinya dari setiap m^2 sebanyak 65.000 Kwatt.

Unsur kedua adalah bumi. Bumi sebagai penerima energi secara langsung dari matahari baik melalui lapisan hidrosfer maupun litosfer. Besar energi yang diterima bumi rata-rata hanya $0,5 \times 10^{-9}$ dari energi matahari keseluruhan. Meskipun demikian, energi yang diterima bumi selama satu menit malah lebih besar dari seluruh energi yang digunakan manusia selama satu tahun. Akibat keadaan bumi berbentuk bulat agak lonjong dan berotasi dengan kemiringan sumbu sebesar 23° maka penerimaan energi di tiap tempat tidak sama. Hal ini akan mengakibatkan perbedaan musim dan perubahan cuaca.

Unsur ketiga adalah bentuk raut muka bumi yang tidak rata. Keadaan geografi dalam bentuk dataran bergunung dan lembah serta samudra akan mempengaruhi cuaca setempat.

Unsur keempat adalah atmosfer. Atmosfer sebagai lapisan udara yang menyelimuti bumi bukan saja menunjang kehidupan biologis, tetapi berperan juga dalam menentukan kondisi di bumi hingga terjadi kehidupan. Kalau tidak ada atmosfer maka suhu bumi dapat sampai 82°C di siang hari dan -14°C di malam hari. Atmosfer dengan berbagai macam kandungan gas, debu dan uap air dapat mengubah radiasi dengan berbagai macam panjang gelombang dipancarkan oleh molekul udara, uap air atau debu yang ada di atmosfer. Sepertiga lagi dipantulkan kembali ke luar angkasa setelah mengenai permukaan awan. Sebagian besar lagi diserap oleh gas lain, seperti ozon, karbondioksida serta uap air. Sisanya dalam bentuk radiasi matahari sampai ke permukaan bumi. Energi ini diubah menjadi energi kinetik molekul dari kehidupan dan sebagian dipancarkan kembali dalam bentuk sinar inframerah. Karena $\frac{3}{4}$ dari permukaan bumi terdiri dari air maka energi yang diterima akan mempercepat gerak molekul air hingga terjadi penguapan. Sedangkan pancaran sinar inframerah akan dipantulkan kembali oleh uap air yang ada di atmosfer (efek rumah kaca). Dengan demikian, terjadi pemanasan atmosfer mulai dari bawah. Suhu atmosfer makin atas makin rendah hingga uap air akan mengembun, timbul awan dan hujan.

Letak dan bentuk geografis yang berbeda akan mengakibatkan perbedaan suhu di bumi. Perbedaan suhu akan mengakibatkan perbedaan tekanan atmosfer sehingga timbul angin. Angin sebagai gerakan udara akan membawa uap air dan energi yang terkandung hingga mempengaruhi suhu

dan kandungan uap air di tempat yang dilewatinya. Gerakan angin dan keadaan geografis akan menentukan juga gerakan air laut atau arus laut. Arus ini pun akan mempengaruhi cuaca di sekitarnya. Dengan demikian peran atmosfer sangat dominan terhadap penentuan cuaca. Di atmosfer terjadi konversi energi dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya. Jika ditinjau secara fisika atmosfer berperan sebagai mesin.

1. Udara sebagai Sumber Energi

Yang akan dibicarakan pada modul ini adalah energi kinetik udara. Gerakan udara arah mendatar di permukaan bumi disebut *angin*. Angin dapat terjadi karena ada perbedaan tekanan udara di dua tempat. Perbedaan tekanan ini sebagai akibat perbedaan suhu karena besar energi yang diterima dari matahari berbeda. Dengan demikian, energi angin merupakan konversi dari energi matahari. Pada daerah yang menerima energi matahari lebih banyak, udara akan lebih mengembang sehingga kerapatannya berkurang. Karena kerapatannya berkurang maka udara di daerah ini membubung ke atas sehingga terjadi penurunan tekanan. Kekosongan udara di suatu daerah akan cepat diisi oleh udara dari daerah tekanan lebih tinggi. Secara teoretis, besar daya kinetik angin $P = 0,5 \text{ m v}^2$.

Misalkan, ada sekelompok angin berpenampang $A \text{ m}^2$ dengan kecepatan $v \text{ m/s}$ dan kerapatan $\rho \text{ kg/m}^3$ maka massanya $m = \rho V \text{ kg}$. Besar daya menjadi $P = 0,5 \rho A v^3 \text{ watt}$. Untuk praktisnya, biasa digunakan rumus pendekatan $P = k A v^3$. Faktor k dan A masih tergantung dari karakteristik angin, gesekan dan efisiensi sistem. Secara estimasi, dapat digunakan rumus $P = 0,1 v^3$.

Dari uraian di atas, jelaslah bahwa secara teoretis, fisika dapat menjelaskan prinsip kerja suatu sistem tetapi dalam penerapannya telah dilakukan modifikasi berdasar pengalaman empirik. Dengan perkataan lain, seorang teknisi dapat menciptakan suatu alat berlandaskan hasil pemikiran sains.

Dalam hal pemanfaatan energi angin maka diciptakan berbagai macam peralatan, seperti kincir angin untuk menggerakkan pompa air, alat penggiling padi, penggergajian, dan pembangkit tenaga listrik. Khusus tentang pembangkit tenaga listrik, akan dibahas pada modul lain.



LATIHAN

Untuk memeddalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Jelaskan beberapa alat mekanik yang menggunakan jasa atmosfer serta jelaskan prinsip kerjanya. Ambillah contoh yang belum disebutkan dalam modul.
- 2) Berikan ulasan tentang peran atmosfer dalam penentuan cuaca.

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Pada prinsipnya, seluruh alat mekanik dengan medium atmosfer atau udara adalah menciptakan selisih tekanan. Alat sedot menimbulkan selisih tekanan udara luar dengan tekanan pada pipa sedot. Demikian juga pada berbagai alat sedot debu. Udara dalam pernapasan melalui paru-paru dapat mengalir ke luar dan masuk karena selisih tekanan udara luar dan udara di dalam dibuat berbeda melalui gerakan paru-paru. Selisih tekanan udara di atmosfer mengakibatkan udara bergerak dan disebut angin. Energi angin inilah yang dijadikan tenaga penggerak.
- 2) Udara di atmosfer selain mengandung berbagai macam gas juga mengandung uap air dan berbagai partikel ,seperti debu. Oleh karena itu, udara dapat menyerap sejumlah energi yang mengakibatkan perubahan suhu dan menimbulkan angin. Angin, uap air, dan partikel lain ditambah dengan perubahan energi maka memungkinkan terjadinya awan serta hujan. Faktor-faktor inilah yang menentukan cuaca.



RANGKUMAN

Beberapa sifat penting dari udara sebagai fluida, antara lain sifat mempunyai tekanan. Tekanan udara dalam ruang terbuka, seperti atmosfer sebagai akibat langsung dari pengaruh gaya gravitasi. Tekanan atmosfer tergantung pada suhu. Perbedaan suhu akan menimbulkan perbedaan tekanan hingga akan timbul hembusan angin. Dengan demikian, angin sebagai sumber energi akibat adanya konversi energi dari bentuk energi panas menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang

terbentuk digunakan untuk kerja atau diubah menjadi bentuk energi lain seperti energi listrik. Besar tekanan udara dalam ruang tertutup selain tergantung pada suhu juga pada kerapatan udara dan volume ruangan. Selisih tekanan yang ada pada bidang pembatas menimbulkan gaya yang dapat melakukan kerja. Kerja inilah yang dimanfaatkan alat seperti pipa sedotan, pompa air, pipet, pemegang kaca. Dengan menggunakan hukum Boyle dapat menjelaskan prinsip paru-paru sebagai alat pernapasan serta peralatan lainnya. Kemudian ada beberapa peralatan yang berprinsip pada hukum Bernoulli. Tidak kalah pentingnya, atmosfer merupakan faktor penting penentu cuaca di bumi.



TES FORMATIF 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Atmosfer ternyata mempunyai tekanan yang diakibatkan oleh
 - A. pengaruh gaya gravitasi
 - B. gaya tumbuk antartikel udara
 - C. gaya kohesi antarmolekul gas di udara
 - D. pengaruh pemanasan matahari
- 2) Beberapa alat yang prinsip kerjanya memanfaatkan tekanan atmosfer, *kecuali*
 - A. pipet
 - B. pompa minyak
 - C. alat pelambung
 - D. pipa sedotan
- 3) Prinsip kerja paru-paru berdasar hukum
 - A. Pascal
 - B. Archimedes
 - C. Bernoulli
 - D. Boyle
- 4) Kendaraan dengan menggunakan roda ban akan terasa lebih nyaman karena mempunyai daya elastik. Hal ini didukung oleh sifat udara, yaitu
 - A. mudah mengembang
 - B. dapat dimampatkan
 - C. massa jenis kecil
 - D. kalor jenis kecil

- 5) Efek venturi menjadi prinsip dasar dari beberapa alat, *kecuali*
- A. alat ukur kecepatan fluida
 - B. alat ukur kecepatan pesawat terbang
 - C. alat ukur tekanan udara tertutup
 - D. alat kendali perahu atau dayung
- 6) Ada beberapa manfaat dari angin yang berhubungan dengan cuaca, *kecuali*
- A. menimbulkan konversi energi mekanik
 - B. menimbulkan konversi energi panas
 - C. mengurangi gaya gravitasi
 - D. mengalihkan partikel dalam udara
- 7) Alat venturimeter dapat digunakan untuk mengukur
- A. kecepatan aliran fluida
 - B. tekanan udara dalam ruang
 - C. tekanan atmosfer
 - D. besar efek venturi
- 8) Alat pompa isap sebenarnya berprinsip pada
- A. penambahan energi panas
 - B. pembentukan selisih tekanan
 - C. penambahan energi potensial
 - D. pembentukan energi kinetik
- 9) Energi angin sebenarnya berpangkal pada
- A. energi perut bumi
 - B. gaya gravitasi bumi
 - C. energi matahari
 - D. gaya interaksi partikel udara
- 10) Besar daya angin yang bergerak dengan kecepatan 5 m/s adalah
- A. 0,5 watt
 - B. 2,5 watt
 - C. 5 watt
 - D. 12,5 watt

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) B. Benar karena memungkinkan terjadi ruang kosong antarmolekul. A, C, dan D salah karena tak memungkinkan ada ruang kosong.
- 2) C. Benar karena ada hubungan dengan larutan. A dan B salah, arena menyebabkan permukaan air cekung, demikian juga D sebagai tekanan gravitasi.
- 3) B. Benar karena elektrolit berhubungan dengan pelarut. A, C, dan D salah karena berhubungan dengan sifat termal.
- 4) D. Benar, sebab berhubungan dengan sifat pelarut, sedangkan A, B, C salah karena akibat air 4 °C kalau didinginkan akan memuai (anomali air).
- 5) B. Benar, sedangkan A, C, dan D salah karena bentuk ikatan tak berpengaruh terhadap tekanan.
- 6) A. Benar sesuai dengan rumus $P = k Q h$. B, C, dan D salah karena masalah penentuan desimal.
- 7) A. Benar sesuai dengan rumus $v = \mu k / \rho R$. B, C, dan D salah karena salah desimal atau salah satuan.
- 8) B. Benar karena sesuai dengan rumus $P = \rho g T H^2 / 64 \pi$. A, C, dan D salah karena salah rumus.
- 9) C. Benar sesuai dengan rumus $E = \rho g A H^2$.
- 10) D. Benar karena besar tekanan akan memperbesar gaya yang diperlukan untuk melakukan kerja. A, B, dan C salah karena bukan menyangkut energi termal.

Tes Formatif 2

- 1) A. Benar karena sesuai dengan percobaan Torricelli.
- 2) C. Salah karena prinsip kerjanya hukum Archimedes. A, B, dan D benar sesuai dengan uraian.
- 3) D. Benar karena ada hubungan antarvolume dan tekanan. A, B, dan C salah karena tak ada hubungannya.
- 4) B. Benar karena adanya gaya elastik. A, C, dan D tak memberikan sifat elastik.

- 5) C. Benar karena tidak menjadi prinsip manometer. A, B, dan D salah karena ada hubungannya antara perubahan kecepatan dengan selisih tekanan.
- 6) C. Benar karena gaya gravitasi tak dapat diubah. A, B, dan D salah karena berhubungan dengan perubahan kecepatan dan perubahan tekanan.
- 7) A. Benar karena sesuai dengan uraian, sedangkan B disebut monometer, C disebut barometer, dan D prinsip yang digunakan.
- 8) B. Benar karena selisih tekanan menimbulkan gaya penggerak. A, C, dan D salah karena tak ada hubungan dengan konversi energi.
- 9) C. Benar karena mengakibatkan perbedaan suhu dan menimbulkan selisih tekanan di udara. A, B, dan D salah karena tak berhubungan langsung.
- 10) D. Benar karena sesuai dengan rumus $P = 0,1 \text{ V}^3$. A, B, dan C salah rumus.

Glosarium

- Elektrolisis : Peristiwa penguraian senyawa menjadi ion-ion dalam larutan.
- Ion : Atom bermuatan listrik.
- Kapiler : Pipa rambut, pipa yang penampangnya sangat kecil.
- Osmosis : Perembesan fluida melalui dinding penyekat akibat perbedaan konsentrasi.

Daftar Pustaka

- Clarke, A.C., dkk. (1982). *Manusia dan Antariksa*. Jakarta: Pustaka Tiara Ilmu.
- Gabriel, J.F. (1996). *Fisika Kedokteran*. Denpasar: EGC.
- Halliday, D. (1977). *Fundamentals of Physics*. New York: John Willey & Sons Inc.
- Halliday, D., dkk. (1977). *Fundamentals of Physics Extended*. New York: John Willey & Sons Inc.
- Kadir, A. (1982). *Energi*. Jakarta: UI Press.
- Kelvey, J. P., dkk. (1978). *Physics for Science and Engineering*. New York: Harper & Row Publisher.
- Mitchell, dkk. (1980). *Energi*. Jakarta: Pustaka Tiara Ilmu.
- O'Brien, R., dkk. (1982). *Mesin*. Jakarta: Pustaka Ilmu.
- Owen, W., dkk. (1980). *Roda*. Jakarta: Tiara Pustaka Ilmu.